转 *cry*1*Ab* 基因水稻对非靶标昆虫白背飞虱种群增长的影响

周　霞，程家安*，娄永根

（浙江大学昆虫科学研究所，杭州　310029）

摘要：通过室内饲养实验及水稻氨基酸和碳、氮含量测定，比较研究了转 *cry*1*Ab* 水稻克螟稻（KMD1 和 KMD2）与其亲本秀水 11 对非靶标害虫白背飞虱种群增长的影响。结果表明，以克螟稻为食可对白背飞虱的产卵期和每雌产卵量产生一定影响。以 KMD2 为食的白背飞虱的产卵期为 7.6 天，每雌产卵量为 95.0 粒，均显著低于以母本秀水 11 为食的白背飞虱的 12.7 天和 167.5 粒。但是，以 KMD1 为食的白背飞虱仅产卵期（8.6 天）显著变短，其每雌产卵量与以其母本秀水 11 为食的白背飞虱无显著差异。稻苗氨基酸含量分析结果表明，KMD2 引起白背飞虱种群生殖力显著下降可能与其游离氨基酸的总量和丙氨酸含量的显著下降以及谷氨酸含量的显著上升有关。因此，转 *cry*1*Ab* 水稻可对白背飞虱种群增长产生影响，但其影响因转 *cry*1*Ab* 水稻品种而异。

关键词：Bt 水稻；非靶标害虫；白背飞虱；种群参数；氨基酸

中图分类号：Q968　　**文献标识码**：A　　**文章编号**：0454-6296(2006)05-0786-06

Effects of transgenic *cry*1*Ab* rice on population development of the white-backed planthopper, *Sogatella furcifera* (Horvath) (Homoptera: Delphacidae)

ZHOU Xia, CHENG Jia-An*, LOU Yong-Gen (Institute of Insect Sciences, Zhejiang University, Hangzhou 310029, China)

Abstract: For assessing impacts of Bt rice on the non-target insects, the population parameters of the white-backed planthopper, *Sogatella furcifera* (Horvath) fed on transgenic *cry*1*Ab* rice varieties KMD1 and KMD2 and their parent rice variety XS11 were assayed in the laboratory. The results showed that the innate capacity for increase of *S. furcifera* on KMD2 was lower than that on XS11 due to the significant reduction of oviposition duration (7.6 d on KMD2 and 12.7 d on XS11, respectively) and the number of eggs laid per female (95.0 on KMD2 and 167.5 on XS11, respectively). The chemical analysis indicated that this might be resulted from the significant difference of contents of total free amino acids, particularly two free amino acids (Ala and Glu) between KMD2 and XS11. But the effect of KMD1 was not the same as that of KMD2 except that there was also a significant reduction of oviposition duration (8.6 d on KMD1). The results suggested that feeding on different rice varieties might have different effects on population development of *S. furcifera*.

Key words: Bt rice; non-target insects; *Sogatella furcifera*; population parameter; amino acids

随着转基因植物种植面积的不断扩大，转基因植物的生态安全性成为人们关注的焦点，而转基因植物对非靶标昆虫的影响是其中的一个重要方面(Snow and Palma, 1997; Schuler *et al*., 1999; Way and Emden, 2000; 刘志诚等, 2002; 李丽莉等, 2004)。一些研究报道表明，转 Bt 基因作物在使田间靶标昆虫种群数量下降的同时，也可导致一些非靶标昆虫种群数量上升。例如，转 Bt 基因棉田昆虫群落的优势种类发生较大的变化，棉铃虫种群数量显著下降，不再是主要害虫；但红蜘蛛、棉蚜、棉蓟马、棉盲蝽等种群却上升成为主要害虫(Fitt and Daly, 1994; 崔金杰和夏敬源, 1997, 2000; 王武刚等, 1999; 万方浩等, 2000)。田间试验结果也表明转 Bt 基因水稻克螟稻田间蓟马和黑尾叶蝉的种群数量上升(唐健等, 2000; 周霞等, 2005)。人们对这一现象有两种解释：一是农田生态系统中处于同一生

基金项目：国家自然科学基金项目(30070500)

作者简介：周霞，女，1971 年生，现为中山大学生命科学院博士后，研究方向为转基因植物的安全性评价和检测，E-mail：zhoushuhuan99@yahoo.com.cn

* 通讯作者 Author for correspondence, E-mail：jacheng@zju.edu.cn

收稿日期 Received：2006-02-13；接受日期 Accepted：2006-08-24

态位的害虫种类种群数量的减少，导致竞争压力减轻，而化学农药使用的减少更增加了其他非靶标昆虫种群发展的机会（Riddick *et al*.，1998；李丽莉等，2004）；二是转基因植物外源基因的随机插入引起包括形态、发育和生理代谢等特性在内的一系列改变，可能通过食物链和信息化合物对非靶标害虫及其天敌产生影响。例如，武予清等（2000）的研究证明，转 Bt 基因棉植株的单宁及总酚含量均低于对照品种，差异达显著水平。黄传杰（2001）认为转 Bt 基因棉花上的棉叶螨发生严重与转 Bt 基因棉花次生代谢物质单宁、酚类化合物的含量比其亲本的含量分别降低 22%和 24%有关。

克螟稻 1（KMD1）和克螟稻 2（KMD2）是原浙江农业大学核农学研究所与加拿大渥太华大学合作，以粳稻品种秀水 11（XS11）为亲本，通过农杆菌介导法，将 *cry1Ab* 基因随机导入而获得的 2 个品种（舒庆尧等，1998；吴刚等，2000）。克螟稻杂交转育时用了 2 个来自 R0 的独立转基因株系，克螟稻 1 杂交时已是 R3 纯合株系；克螟稻 2 杂交时为 R2 代纯合株系。两个品种除株高有明显不同外，生测结果表明克螟稻 1 和克螟稻 2 对二化螟、三化螟、大螟、稻纵卷叶螟等害虫都具有极强的致死力（舒庆尧等，1998）。为明确克螟稻对非靶标昆虫白背飞虱 *Sogatella furcifera*（Horvath）种群增长的影响，在实验室比较研究了克螟稻及其亲本秀水 11 对白背飞虱种群参数的影响，并比较测定了克螟稻系列品种及其亲本的游离氨基酸含量和碳、氮含量等生理生化指标的差异，探讨了克螟稻营养成分变化与白背飞虱种群参数变化的关系，以求找出转 Bt 基因水稻影响非靶标害虫白背飞虱种群的机理，从而为全面评价转 Bt 基因水稻的生态风险提供依据。

1　材料与方法

1.1　供试材料

供试水稻品种是克螟稻 1 和克螟稻 2，以其亲本秀水 11 为对照，由浙江农业大学核农学研究所提供。种子经催芽后播种，在网室内培育，一个月后移栽，以移栽后 30～45 天的稻苗供试。第一次播种后，每隔 10～15 天再播种一批，以保证整个实验期间供试苗生育期一致。

供试昆虫是白背飞虱，采自浙江大学华家池校区农场稻田。在网室内用秀水 11 繁殖多代后使用。

1.2　实验方法

1.2.1　对白背飞虱生长、发育和繁殖的影响：取 3 个供试水稻品种移栽后 30～45 天的稻苗，清理干净，放入盛有木村 B 水稻培养液的大试管（Φ1.8 cm ×18 cm，以 100 目的尼龙纱封口）中，每管一根苗。接入当天孵出的白背飞虱若虫 1 头，每品种 50 管。以后每 3 天换苗 1 次，每天观察记录飞虱的存活和蜕皮情况。若虫羽化为成虫后，雌雄配对饲养，每 2 天换苗 1 次，在解剖镜下检查每 2 天的产卵量。按经典公式，计算各种群参数（孙儒泳，2001）。饲养和实验均在（27±1）℃、80% RH 和 12L∶12D 光周期的人工气候室内进行。

1.2.2　供试水稻品种的游离氨基酸含量测定：取各品种移栽后苗龄 45 天左右的水稻苗 100 株，截取根部以上部分剪碎、混匀，随机用天平称取 100 mg，重复取样 3 次。每份样品加入 4%磺基水杨酸浸提，15 000 r/min 冷冻离心 20 min，收集上清液。以上步骤重复 2 次，合并上清液，用日立 835-50 型氨基酸自动分析仪测定游离氨基酸的含量，每品种重复 3 次，对测定结果进行方差分析。

1.2.3　供试水稻品种的碳、氮含量测定：在 2 个不同播种时期的水稻苗中分别进行测定。每次测定取各品种苗龄 45 天左右的水稻苗 100 株，剪取根部以上部分，将材料擦干表面水分并稍晾后称取鲜重，然后摊开置于 110℃烘箱中杀青 30 min，再在 80℃下烘干至恒重，取出置于干燥皿中自然冷却并称重。将干燥后的样品剪成 1 cm 长的小段，放入打磨机中粉碎，打磨细度要求过 0.25 mm 孔径（60 目）筛，充分混匀后，装入磨口瓶中备用。随机取 2～3 克，重复取样 3 次，分别进行碳、氮含量测定。

全氮用凯氏微量定氮法、全碳用 $K_2Cr_2O_7$ 容量法测定（李合生，2000）。

1.3　数据分析

用 DPS 软件（唐启义和冯明光，2002），对所得数据进行方差分析。

2　结果与分析

2.1　克螟稻对白背飞虱发育、存活和繁殖的影响

从表 1 看出，3 个供试的水稻品种相比，克螟稻 2 上的白背飞虱卵孵化率稍高，克螟稻 1 上育出的白背飞虱的卵期最短，若虫历期最长。

表 1 Bt 水稻对白背飞虱发育、存活和繁殖的影响(27±1℃)

Table 1 Impacts of Bt rice on development, survival and fecundity of *Sogatella furcifera* (27±1℃)

参数 Parameter	克螟稻 1 KMD1	克螟稻 2 KMD2	秀水 11 XS11 (CK)
孵化率 Hatching rate (%)	80.3	88.6	80.0
卵历期 Egg duration (d)	6.1±0.9 (n=28) b	6.3±0.7 (n=32) ab	6.6±0.9 (n=35) a
若虫历期 Nymphal duration (d)	18.3±0.7 (n=39) a	17.3±0.5 (n=40) ab	16.76±0.4 (n=32) b
若虫存活率 Survival of nymph (%)	88.0	87.0	84.8
雌虫比率 Female proportion (%)	47.5	45.1	50.0
成虫寿命 Adult longevity (d)			
♀	22.3±1.2 (n=19) a	22.7±1.4 (n=20) a	25.5±1.3 (n=16) a
♂	25.9±1.2 (n=20) a	22.6±1.1 (n=20) b	24.3±1.1 (n=16) ab
产卵前期 Pre-oviposition duration (d)	4.6±0.2 (n=19) a	4.5±0.2 (n=20) a	4.6 ±0.2 (n=16) a
产卵期 Oviposition duration (d)	8.6±1.1 (n=19) b	7.6±2.0 (n=20) b	12.7±1.6 (n=16) a
每雌产卵量(粒) Number of eggs laid per female	134.9±23.6 (n=19) ab	95.0±19.5 (n=20) b	167.5±22.9 (n=16) a

表中数据为平均值±标准差,同行数据后有不同字母表示差异显著(新复极差法,$P<0.05$)。表 4 同。

The data in the table are mean ± *SD*, and those in the same row followed by different letters show significant differences at $P<0.05$ by Duncan's multiple range test. The same for Table 4.

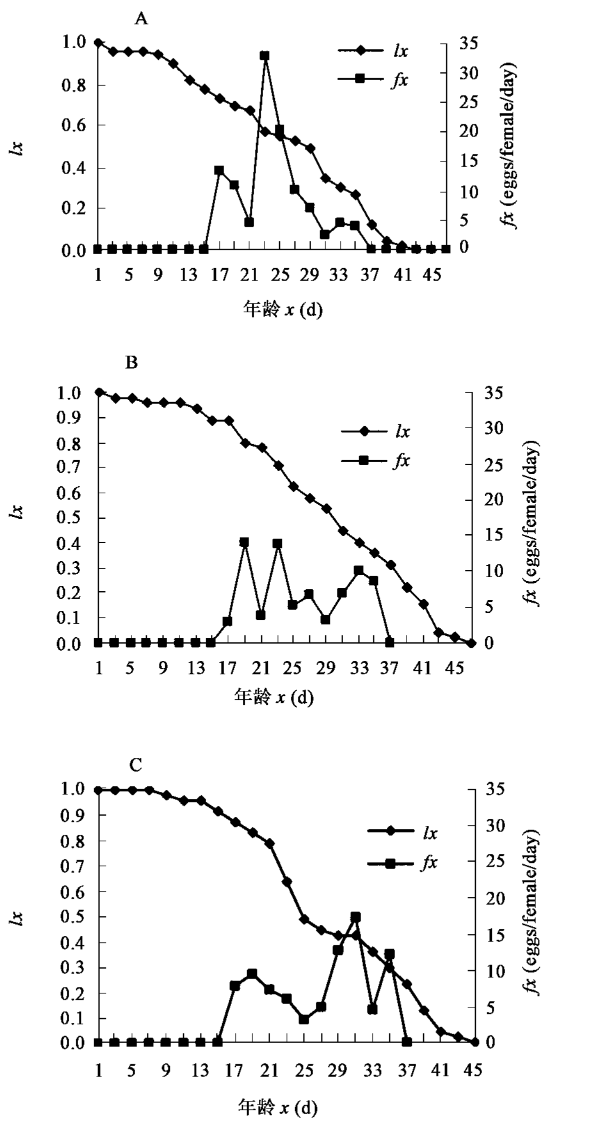


图 1 白背飞虱在秀水 11(A),克螟稻 1(B)和克螟稻 2(C)上的年龄特征存活率(l_x)和繁殖力(f_x)曲线

Fig. 1 Age-specific survival (l_x) and fecundity (f_x) curves of *S. furcifera* feeding on rice varirties, XS11 (A), KMD1 (B) and KMD2 (C)

从秀水 11 和两种克螟稻上的白背飞虱的存活曲线可以看出,克螟稻 1 和克螟稻 2 上的白背飞虱的若虫期曲线下降较秀水 11 上的略为平缓,但三个水稻品种上白背飞虱的若虫期存活率接近(图 1,表 1)。

白背飞虱雌成虫在秀水 11、克螟稻 1 和克螟稻 2 上的产卵前期无显著差异。但是,KMD2 上的白背飞虱雌成虫寿命显著短于另两个品种上的。同时,KMD1 和 KMD2 上白背飞虱的产卵期显著短于秀水 11 上的,且 KMD2 上白背飞虱每雌产卵量仅 95.0,显著少于秀水 11 上的 167.5(表 1)。

白背飞虱在秀水 11、克螟稻 1 和克螟稻 2 上的生殖力曲线均呈多峰型,其起始产卵时间都是孵化后的第 17 天;产卵终止时间都是第 37 天。但是产卵高峰日不同,分别为第 23,23,31 天。而且,秀水 11 上高峰日产卵量最高,克螟稻 2 上雌成虫在产卵后不久的死亡明显多于秀水 11 和克螟稻 1 上的(图 1)。

2.2 克螟稻及秀水 11 上白背飞虱种群参数的比较

3 个品种上白背飞虱的种群参数存在差异(表 2),各品种上白背飞虱种群参数大小顺序为 净繁殖率(R_0)、内禀增长率(r_m)和周限增长率为秀水 11 > KMD1 > KMD2;而种群加倍时间和平均世代周期 T

表 2 Bt 水稻品种对白背飞虱种群参数的影响(27±1℃)

Table 2 Impacts of Bt rice on population parameters of *Sogatella furcifera* (27±1℃)

	克螟稻 1 KMD1	克螟稻 2 KMD2	秀水 11 XS11 (CK)
内禀增长力 r_m	0.5060	0.3400	0.5151
平均世代周期 T (d)	8.22	11.03	8.60
净生殖率 R_0	64.0500	42.5100	83.7635
周限增长率 λ	1.6586	1.4049	1.6736
种群加倍时间(d) Time of double population	1.37	2.04	1.35

(d)为 KMD2 > KMD1 > 秀水 11。这表明白背飞虱取食 KMD2 引起产卵高峰期推迟和每雌产卵量下降，最终导致生殖力下降和世代周期延长，不利于种群的增长。

表 3　秀水 11、克螟稻 1 和克螟稻 2 稻苗内游离氨基酸的含量比较

Table 3　Comparison of free amino acid contents in seedlings among three rice varieties，XS11，KMD1 and KMD2

氨基酸(μg/mg) Amino acid	克螟稻 1 KMD1	克螟稻 2 KMD2	秀水 11 XS11 (CK)
精氨酸 Arg	24 ± 1.4 aA	24 ± 0.4 aA	16 ± 0.8 bB
组氨酸 His	91 ± 1.2 aA	56 ± 3.6 cB	81 ± 4.5 bB
异亮氨酸 Ile	9 ± 0.4 aA	8 ± 0.0 bAB	7 ± 0.4 bB
亮氨酸 Leu	23 ± 1.5 aA	21 ± 2.4 aA	19 ± 0.4 aA
赖氨酸 Lye	23 ± 1.5 aA	17 ± 0.4 bB	16 ± 0.0 cB
苯丙氨酸 Phe	19 ± 1.2 aA	18 ± 0.8 abA	16 ± 0.4 bA
苏氨酸 Thr	34 ± 1.1 aA	21 ± 2.2 cB	25 ± 0.8 bB
色氨酸 Try	9 ± 0.4 aA	10 ± 0.8 aA	8 ± 1.1 aA
缬氨酸 Val	24 ± 0.4 aA	22 ± 0.4 bA	17 ± 0.8 cB
天门冬氨酸 Asp	150 ± 5.1 aA	143 ± 0.4 aA	145 ± 8.2 aA
丝氨酸 Ser	66 ± 3.3 bB	47 ± 0.8 cC	101 ± 5.1 aA
谷氨酸 Glu	113 ± 4.7 bB	162 ± 4.3 aA	120 ± 1.8 bB
甘氨酸 Gly	10 ± 0.4 aA	5 ± 1.1 bB	5 ± 0.7 bB
丙氨酸 Ala	62 ± 0.8 aA	51 ± 0.8 bB	60 ± 0.4 aA
酪氨酸 Tyr	21 ± 1.2 aA	15 ± 0.8 bA	17 ± 2.1 abA
脯氨酸 Pro	13 ± 0.8 aA	13 ± 0.4 aA	9 ± 1.4 aA
总量 Total	691 ± 17.1 aA	643 ± 4.9 bA	662 ± 17.1 abA

表中数据为平均值 ± 标准差，同一行内字母相同者表示无显著差异（小写字母，$P > 0.05$；大写字母，$P > 0.01$，邓肯氏新复极差法）。

Data (mean ± *SD*) followed by the same letters in the same row show no significant difference (small letters, $P > 0.05$; capital letters, $P > 0.01$, Duncan's new multiple range test).

2.3　克螟稻及其对照的游离氨基酸含量比较

秀水 11 和克螟稻植株游离氨基酸含量的测定结果表明，克螟稻 2 的游离氨基酸的总量低于秀水 11 和克螟稻 1(表 3)。

18 种氨基酸中，精氨酸、组氨酸、异亮氨酸、赖氨酸、苯丙氨酸、苏氨酸、缬氨酸、丝氨酸、谷氨酸、甘氨酸、丙氨酸和酪氨酸等 12 种在 3 个水稻品种上有显著差异(表 3)。

克螟稻中的缬氨酸和精氨酸含量极显著高于秀水 11 中的含量($P < 0.01$)，赖氨酸含量显著高于秀水 11 中的含量($P < 0.05$)(表 3)。从表 3 中可以看出，克螟稻 2 与秀水 11 和克螟稻 1 有不同变化趋势的是氨基酸总量、丙氨酸、谷氨酸、苏氨酸、丝氨酸和组氨酸等，其中除克螟稻 2 中谷氨酸的含量极显著高于秀水 11 和克螟稻 1 的含量外，其余氨基酸的含量都显著或极显著低于秀水 11 和克螟稻 1 的含量。

2.4　克螟稻及其对照苗期的含碳量和含氮量测定

两批不同时间播种的稻苗测定结果相同(表 4)，克螟稻 1 的含氮量均为最高，秀水 11 次之，克螟稻 2 最低，但并无显著性差异($P > 0.05$)。

两次测定都是秀水 11 的含碳率平均值最高，克螟稻 2 次之，而克螟稻 1 最低，但也无显著性差异($P > 0.05$)。

表 4　秀水 11、克螟稻 1 和克螟稻 2 稻苗氮、碳含量(%)比较

Table 4　Comparison of C and N contents (%) in seedlings among three rice varieties，XS11，KMD1 and KMD2

	克螟稻 1 KMD1	克螟稻 2 KMD2	秀水 11 XS11 (CK)
第一次取样含 N 率(%) N content of 1st sample	2.4 ± 0.3 a	2.1 ± 0.2 a	2.3 ± 0.0 a
第二次取样含 N 率(%) N content of 2nd sample	3.0 ± 0.2 a	2.7 ± 0.1 a	2.9 ± 0.2 a
第一次取样含 C 率(%) C content of 1st sample	12.3 ± 0.3 a	13.6 ± 0.6 a	16.6 ± 2.3 a
第二次取样含 C 率(%) C content of 2nd sample	13.0 ± 0.7 a	14.4 ± 1.8 a	16.1 ± 0.9 a

3　讨论

在农田生态系统中，有植物、植食者、天敌和周围环境等多种因素，生物物种通过食物网和信息化合物网相互影响和依存。本实验全部在室内进行，3 个供试水稻品种的播种时间和种植条件完全相同，从而排除了其他因子的干扰。

本研究结果表明，与秀水 11、克螟稻 1 相比，在克螟稻 2 上白背飞虱的雌成虫产卵量少，白背飞虱的净生殖率、周限增长率低，种群加倍时间长，导致其种群内禀增长力变小。姜永厚等(2004)的研究表明，*cry1Ab* 可以沿水稻-害虫-天敌食物链传递。但本研究结果表明，尽管克螟稻 1 上的白背飞虱的种群参数与秀水 11 上的没有明显差异，但克螟稻 2 上的种群数量却较秀水 11 上的显著减少。虽然克螟稻 1 与克螟稻 2 均是同一母本转入相同 Bt 基因与启动子培育出的转基因水稻，但对同一种昆虫种群的影响各异。这表明，转入的 *cry1Ab* 基因并不是供试 Bt 水稻对非靶标害虫起作用的直接原因。

俞晓平等(1989)的研究结果表明，不同品种水稻植株含氮量与其对白背飞虱抗性呈极显著负相关；亮氨酸和丙氨酸的含量与品种对白背飞虱抗性也呈显著负相关。本研究结果表明克螟稻 2 含氮量较低，克螟稻 2 植株内游离氨基酸总量和丙氨酸的含量均显著少于秀水 11 和克螟稻 1。因此，克螟稻 2 植株生理条件的改变，尤其是游离氨基酸总量和丙氨酸的含量的改变，可能是引起白背飞虱种群增长率下降的重要原因。这说

明,同样的基因随机插入,由于其插入位点不同,可能引起其他相关基因表达的差异,并因此带来其他生理特性和营养成分的差异,从而影响到以这些品种为食的昆虫的生长和发育的差异。但是,这一结果有待于进一步研究证实。

室内实验结果表明克螟稻 1 和克螟稻 2 都有利于非靶标昆虫黑尾叶蝉种群数量的增长。克螟稻上黑尾叶蝉种群数量比秀水 11 显著增多的现象可能与克螟稻上缬氨酸、精氨酸和赖氨酸含量显著增多有关(周霞等,2005)。然而,同样这两个品种,对白背飞虱一个无显著影响,一个有明显不利影响。可见,转 Bt 植物对非靶标昆虫的影响可能通过随机插入基因对植物代谢的影响而产生。因此,转基因作物对非靶标昆虫的影响会因昆虫物种的营养需求不同而异。

鉴于转基因作物的转入基因、启动子与其亲本都不相同,插入位点是随机的,同时生态系统中的节肢动物种类亦是多样的,在进行转基因作物的生态安全性评价时,不能简单地根据某一因子的变化而简单地给出对生态系统有或无影响的结论,而是必须基于因地因时因种的个案原则。

转基因作物的风险评估应该包括三个层次上的实验评估步骤:(1)室内小规模生物测定实验;(2)在理想条件下的室内实验或小规模田间实验;(3)大规模的田间实验。本文在室内理想条件下对转 Bt 基因水稻克螟稻对非靶标害虫白背飞虱进行了实验评估,室内理想状态下从食物链和信息化合物网两方面对其天敌的影响的结果将另文发表。

致谢 感谢浙江大学核农学研究所舒庆尧教授提供克螟稻水稻种子。

参 考 文 献 (References)

Cui JJ, Xia JY, 1997. The inflence of Bt-cotton on the population densities of main pests and natural enemies in the field. *Journal of Henan Agricultural University*, 31(4): 352–356. [崔金杰, 夏敬源, 1997. 转 Bt 基因棉对棉田主要害虫及其天敌种群消长的影响. 河南农业大学学报, 31(4): 352–356]

Cui JJ, Xia JY, 2000. Effects of transgenic Bt cotton R93-6 on insect community. *Acta Entomol. Sin.*, 43(1): 43–51. [崔金杰, 夏敬源, 2000. 麦套夏播转 Bt 基因棉 R93-6 对昆虫群落的影响. 昆虫学报, 43(1): 43–51]

Fitt GP, Daly JC, 1994. Field evaluation and potential ecological impact of transgenic cotton (*Gossypium hirsutum*) in Australia. *Biocontrol Sci. Tech.*, 4(4): 535–548.

Huang CJ, 2001. The use and prospect of plant transgenic technics in IPM. *Anhui Agriculture Science*, 29(3): 320–324. [黄传杰, 2001. 植物基因工程技术在病虫害防治中的应用与展望. 安徽农业科学, 29(3): 320–324]

Jiang YH, Fu Q, Cheng JA, Zhu ZR, Jiang MX, Ye GY, Zhang ZT, 2004. Dynamics of *Cry 1Ab* protein from transgenic Bt rice in herbivores and their predators. *Acta Entomol. Sin.*, 47(4): 454–460. [姜永厚, 傅强, 程家安, 祝增荣, 蒋明星, 叶恭银, 张志涛, 2004. 转 Bt 基因水稻表达的毒蛋白 *Cry 1Ab* 在害虫及其捕食者体内的积累动态. 昆虫学报, 47(4): 454–460]

Li HS, 2000. Experimental Principle and Technology of Plant Physiology and Biochemistry. Beijing: Higher Education Press. 194–202. [李合生, 2000. 植物生理生化实验原理和技术. 北京:高等教育出版社. 194–202]

Li LL, Wang ZY, He KL, Peng YF, Hua L, 2004. Impact of the insect-resistant transgenic crops on non-target insects *Acta Ecologica Sinica*, 24(8): 1797–1806. [李丽莉, 王振营, 何康来, 彭于发, 花蕾, 2004. 转基因抗虫作物对非靶标昆虫的影响. 生态学报, 24(8): 1797–1806]

Liu ZC, Ye GY, Hu C, Datta SK, 2002. Effects of Bt transgenic rice on population dynamics of main non-target insect pests and dominant spider species in rice paddies. *Acta Phytophyl. Sin.*, 29: 138–144. [刘志诚, 叶恭银, 胡萃, Datta SK, 2002. Bt 水稻对主要非靶标害虫和蜘蛛优势种田间种群动态的影响. 植物保护学报, 29: 138–144]

Riddick EW, Dively G, Barbosa P, 1998. Effect of a seed-mix development of Cry3A-transgenic and non-transgenic potato on the abundance of *Lebia grandis* (Coleoptera: Carabidae) and *Coleomegilla maculata* (Coleoptera: Cocconelliae). *Ann. Entomol. Soc. Am.*, 91: 647–653.

Schuler TH, Poppy GM, Karry BR, Denholm L, 1999. Potential side effects of insect-resistant transgenic plants on arthropod natural enemies. *Trends Biotechnol.*, 17(5): 210–216.

Shu QY, Ye GY, Cui HR, Xia YW, Gao MW, 1998. Development of transgenic *Bacillus truringensis* rice resistant to rice stem borers and leaf folders. *Journal of Zhejiang Agricultural University*, 24(6): 579–580. [舒庆尧, 叶恭银, 崔海瑞, 夏英武, 高明尉, 1998. 转基因水稻'克螟稻'选育. 浙江农业大学学报, 24(6): 579–580]

Snow AA, Palma PM, 1997. Commercialization of transgenic plants: Potential ecological risks. *BioScience*, 47: 86–96.

Sun RY, 2001. The Principles of Animal Ecology. Beijing: Beijing Normal University Press. 146–161. [孙儒泳, 2001. 动物生态学原理. 北京师范大学出版社. 146–161]

Tang J, Yang BJ, Jiang YN, Ye GY, Shu QY, 2000. Preliminary study on *Trips eryzae* virulence to Bt gene transformed rice Kemingdao 2. *Chin. J. Rice Sci.*, 14(4): 241–242. [唐健, 杨保军, 蒋跃南, 叶恭银, 舒庆尧, 2000. 稻蓟马危害转 Bt 基因水稻克螟稻 2 号研究初报. 中国水稻科学, 14(4): 241–242]

Tang QY, Feng MG, 2002. DPS Data Processing System for Practical Statistics. Beijing: Science Press. 43–140. [唐启义, 冯明光, 2002. DPS 数据分析系统. 北京:科学出版社. 43–140]

Wan FH, Ye ZC, Guo JY, Xie M, 2000. The advance and prospect of biocontrol in China. *Entomol. Knowl.*, 37(2): 65–83. [万方浩, 叶正楚, 郭建英, 谢明, 2000. 我国生物防治研究的进展及展望. 昆虫知识, 37(2): 65–83]

Wang WG, Wu KM, Liang GM, Li XL, 1999. Occurrence of cotton pests in the Bt cotton fields and its control strategy. *Plant Protection*, 25(1): 3–5.

[王武刚，吴孔明，梁革梅，李修立，1999. Bt 棉对主要棉虫发生的影响及防治对策. 植物保护，25(1)：3－5]

Way MJ，Emden HF，2000. Integrated pest management in practice-pathways towards successful application. *Crop Prot*.，19：81－103.

Wu G，Cui HR，Shu QY，Xia YW，2000. Advance in the research on Bt transgenic plant breeding. *Adv*. *Biotechnol*.，20(2)：45－48. [吴刚，崔海瑞，舒庆尧，夏英武，2000. Bt 杀虫晶体蛋白基因及其转基因育种研究进展. 生物工程进展，20 (2)：45－48]

Wu YQ，Guo YY，Zeng QL，2000. Occurrence of cotton pests in the Bt cotton fields and its control strategy. *Journal of Henan Agricultural University*，34 (2)：134－138. [武予清，郭予元，曾庆龄，2000. 转 Bt 基因棉单宁及总酚含量的初步测定. 河南农业大学学报，34(2)：134－138]

Yu XP，Wu GR，Hu C，1989. The rice varietal resistance to whitebacked planthopper (*Sogatella furcifera*) and the relationship between the nutrients in rice plants and the varietal resistance. *Chin*. *J*. *Rice Sci*.，3(2)：56－61. [俞晓平，巫国瑞，胡萃，1989. 水稻对白背飞虱的抗性与稻株营养成分和品种抗性的关系. 中国水稻科学，3(2)：56－61]

Zhou X，Cheng JA，Hu Y，Lou YG，2005. The effects of transgenic Bt-rice on the population development of *Nephotettix cincticeps*. *Chin*. *J*. *Rice Sci*.，19 (1)：69－74. [周霞，程家安，胡阳，娄永根，2005. 转 Bt 基因水稻克螟稻对黑尾叶蝉种群增长的影响. 中国水稻科学，19 (1)：69－74]

(责任编辑：袁德成)